COMMENT, PRATIQUEMENT, AMÉLIORER LA RADIOPROTECTION DES OPÉRATEURS CND PAR L'UTILISATION D'AUTRES MÉTHODES ET/OU TECHNIQUES ?

HOW, IN PRACTICE, IMPROVE THE RADIOPROTECTION OF NDT OPERATORS BY USE OF OTHER METHODS AND/OR TECHNICS?

D. CHAUVEAU, A.BLETTNER - INSTITUT DE SOUDURE INDUSTRIE (*)
J.CADITH, J.RIVENEZ- CETIM (**)
(*) 90, rue des Vanesses – 93420 Villepinte - Tél. +33 (0)1 49 90 37 32
E-mail : d.chauveau@institutdesoudure.com; a.blettner@institutdesoudure.com
(**) Av Félix Louat 60300 Senlis - +33 (0)3 44 67 34 94
E-mail :Julien.Cadith@cetim.fr ; Jacques.Rivenez@cetim.fr

Résumé

En 2005, l'ASN s'est rapprochée de la COFREND et a exprimé le souhait que soit menée une réflexion approfondie sur les solutions à mettre en place pour améliorer l'aspect radioprotection lors de la réalisation de contrôles non destructifs par gammagraphie à l'Ir 192. Plusieurs actions ont alors été lancées, par la COFREND [1], mais également par d'autres acteurs majeurs dans le domaine des contrôles non destructifs (projet ALTERX piloté par l'Institut de Soudure [2], projet SOURCE piloté par le CETIM [3],)

L'institut de Soudure et le CETIM ont à l'issue de leurs projets respectifs décidé de mettre en commun les résultats de leurs études afin de rédiger un guide de bonne pratique visant à proposer une démarche pragmatique pour remplacer au stade de la fabrication des Equipements Sous Pression, la gammagraphie à l'Ir 192 par d'autres méthodes et/ou techniques.

Ce guide a pour objectifs :
– d'être pragmatique et concret et de répondre aux attentes des acteurs industriels (donneurs d'ordre, fabricants) et prestataires,
– de garantir aux clients finaux la mise en œuvre satisfaisante des méthodes alternatives,
– de définir le cadre de l'utilisation des méthodes alternatives, en tenant compte de l'environnement réglementaire, technique et économique afin d'assurer des conditions de service équivalentes.

Ce guide sera publié après approbation par la COFREND, l'AFIAP et le SNCT et sera amené à évoluer.

Abstract

In 2005, the ASN (the French nuclear safety authority) asked COFREND to drive a "think tank" about the best solutions for improving radioprotection when non-destructive testing by Ir192 gammagraphy is carried out. Several actions were then launched, by the COFREND [1]*, but also technical projects by the other major actors in the field of the non-destructive testing, (ALTER-X* [2]*, coordinated by the Institut de Soudure, SOURCE* [3]*, coordinated by the CETIM).*

Institut de Soudure and CETIM decided at the conclusion of their respective projects to share the results of their studies to draft a guide of good practice to propose a pragmatic approach to replace at the stage of the manufacturing of pressure equipment, Ir192 by alternative methods and\or techniques.

The objectives of this guide are:

- *to be pragmatic and clear, meeting the industrial actors expectations (end users, manufacturer, NDT service companies).*
- *to guarantee to the final customers a satisfactory implementation of the alternative methods,*
- to define the scope of use of the alternative methods, by taking into account the statutory, technical and economic environment in order to meet equivalent service conditions.

INTRODUCTION

Les techniques d'examen par rayonnements ionisants sont très largement utilisées pour le contrôle des soudures des appareils à pression. L'inconvénient majeur de l'emploi de cette technique réside dans les risques occasionnés par les rayonnements ionisants qui imposent la mise en place d'un périmètre de sécurité contraignant pour l'exploitant et nécessitent le plus souvent d'avoir recours à des travaux en horaire décalé générant des coûts indirects importants.

Le coût du contrôle est principalement conditionné par la cadence pouvant être atteinte. Celle-ci dépend de facteurs propres aux conditions de mise en œuvre, de la qualité des résultats attendus et de leur formalisation : contenu et forme des rapports, mode de relevés des indications, niveau d'enregistrement des indications, critères d'acceptation, analyse des artefacts potentiels en vue d'un futur suivi en service (par exemple, indications générées par la géométrie particulière de la pièce contrôlée, ….).

Toutefois, l'évaluation des coûts ne doit pas être uniquement effectuée sur la base des coûts directs constitués du seul prix journalier d'une prestation de contrôle mais doit prendre en compte :

- la cadence de contrôle et son impact sur l'avancement de la fabrication,
- le différentiel de taux de réparation entre la technique initiale et la technique alternative employée.
- la possibilité de réagir plus vite sur le soudage (par exemple du fait de disposer plus rapidement des résultats du contrôle),
- les gains liés à la possibilité de « coactivité » métier par une plus grande maitrise des risques d'irradiation ce qui rend possible le travail de plusieurs équipes de radiologues,
- les gains liés à la possibilité de « coactivité » entre les opérations de soudage et de contrôle, généralement impossible lorsque l'on emploie une technique par rayonnements ionisants
- le différentiel sur les coûts de stockage des résultats (par exemple en cas de suppression des films …).

Les coûts directs sont constitués des éléments suivants :

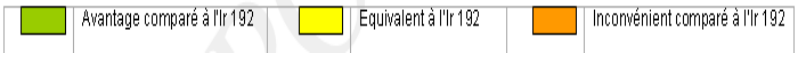
- coût des agents mettant en œuvre l'équipement,
- frais généraux induits par la gestion des sources radioactives, la formation et la certification des opérateurs ….
- frais de séjours et déplacements des opérateurs,
- amortissement des équipements

- coût des consommables.

Ces coûts sont comparés dans le tableau suivant, pour les 2 techniques alternatives abordées dans le guide : le Sélénium 75 et le TOFD

	Sélénium 75	TOFD
Coût de l'équipement	=	>
Coût des consommables	>	<<
Frais de personnel	=	>
Cadence	<=	>>
Gestion de la radioprotection	<	<<

Légende: *Le tableau est à lire en prenant en compte la couleur et le signe*
= identique à l'Ir 192 <= voisine de l'Ir 192
> supérieure à l'Ir 192 >> très supérieure à l'Ir 192
< inférieure à l'Ir 192 << très inférieure à l'Ir 192



RAPPELS DES EXIGENCES CND

Lorsqu'un référentiel de construction d'équipement sous pression (code ou normes) impose la réalisation de contrôles non destructifs visant à garantir l'absence de défauts internes inacceptables, le choix de la méthode à employer est généralement laissé à l'utilisateur. Ce choix doit être réalisé parmi les méthodes CND intégralement reconnues par le référentiel utilisé, et fondé sur des critères prenant généralement en compte l'épaisseur du joint soudé à contrôler, sa configuration et le matériau considéré. La réalisation du contrôle doit alors être conforme aux impositions du référentiel utilisé. Ces impositions englobent l'ensemble des points qui permettent d'assurer la qualité du contrôle à réaliser. Pour qu'une méthode soit considérée comme intégralement reconnue par un référentiel de construction, on doit y retrouver a minima les points suivants:

- Les principes généraux de la méthode
- Le domaine d'application de la méthode
- Les différentes méthodologies de contrôles pouvant être mises en œuvre et les impositions relatives (réglages, modes opératoires)
- Les exigences relatives au matériel utilisé
- Les exigences relatives aux documents (documents nécessaires avant contrôle, procédures, rapport de contrôle …)
- Les exigences relatives au personnel amené à intervenir au cours des différentes phases du contrôle (rédaction de la procédure, réalisation du contrôle, analyse des résultats …)
- Les méthodologies de classification et d'évaluation des indications
- Les critères d'acceptation

Dans une démarche qui est propre à chaque référentiel, chaque méthode peut être employée, en vue d'obtenir un niveau de qualité donné, qui se traduira par des exigences plus ou moins strictes dans les points cités précédemment. Le choix du niveau de qualité doit être réalisé à partir de l'analyse globale du processus de conception et de fabrication de l'équipement.

PRESENTATION GENERALE DU GUIDE

Le guide est à ce jour constitué de 3 chapitres :

- le chapitre 1 définit les principes de validation technique du remplacement d'une technique RT par une technique alternative et énonce les recommandations générales à respecter,
- le chapitre 2 donne les conditions de mise en œuvre du TOFD,
- le chapitre 3 donne les conditions de mise en œuvre du Se75

Le guide émet des recommandations différentes suivant les sollicitations auxquelles l'ESP est soumis en service et les risques de défauts de soudures susceptibles de survenir.

Des exemples de transposition possibles, sur 2 types d'appareil à pression sont donnés.

Présentation du chapitre 1

Points clefs

Les points clefs abordés dans le chapitre 1 sont les suivants :

- règles à respecter pour assurer la transposition :
  a) dans le cas général,
  b) sur les appareils à paroi mince,
  c) sur les équipements soumis à la fatigue,
  d) lorsque le risque de défauts transversaux est avéré.
- principes de validation hors champ EN 12062
  a) basés sur le retour de validation,
  b) exploitant des maquettes
  c) basés sur la démarche POD (Probability of Detection) .
- Définition et méthodologie à suivre pour définir des critères associés aux défauts - démarche type Engineering Critical Assesment (ECA),
- Recommandations pour intégrer la contrôlabilité lors de la conception,

Ces points clefs sont très succinctement balayés ci-après.

Règles à respecter pour assurer la transposition

Les équipements sous pression dont l'épaisseur est mince sont particulièrement concernés par le risque de défauts de soudures susceptibles d'affecter l'étanchéité. La méthode alternative choisie doit donc être apte à détecter ces défauts (fissures, soufflures vermiculaires…), avec une sensibilité égale ou supérieure à celle obtenue avec la technique par rayonnements ionisants initialement prévue. Si une technique d'imagerie ultrasonore alternative est retenue, un contrôle visuel et un examen surfacique de préférence par ressuage seront effectués sur 1 ou 2 faces (en fonction des conditions d'accessibilité),

Dans le cadre du remplacement des rayonnements ionisants sur un équipement sous pression soumis à la fatigue, il est essentiel de s'assurer que la méthode alternative choisie soit apte à détecter les discontinuités proches de la surface (discontinuités favorisant l'amorçage de fissures de fatigue), avec une sensibilité égale ou supérieure à celle obtenue avec la méthode initiale.

Il est donc recommandé d'assurer un contrôle à 100% de la longueur des joints soudés se trouvant dans les zones critiques, par méthodes volumique et surfacique, ainsi qu'un contrôle visuel dont le but est de déceler d'éventuelles irrégularités géométriques (par exemple caniveaux, aspect dimensionnel du cordon …).

Si l'ESP est soumis à la fatigue, on recommande donc d'appliquer les dispositions suivantes lorsque l'on emploiera une technique ultrasonore alternative :

- sur composant en acier carbone, réalisation de contrôles préalables visuel et par magnétoscopie ou ressuage sur les 2 faces,
- sur composant en acier inoxydable, réalisation de contrôles préalables visuel et par ressuage sur les 2 faces,

Toute indication détectée en surface par technique alternative ultrasonore doit être considérée comme inacceptable sauf si l'on démontre à l'aide d'un meulage superficiel associé à un examen CND de surface complémentaire que l'indication de surface est éliminée.

Si le risque de génération de défauts transversaux est avéré lors de la réalisation des soudures de l'appareil, on devra démontrer, si l'on emploie des ultrasons, que la technique alternative appliquée est apte à détecter ce type de défaut (en particulier dans les soudures circulaires). Si le risque de génération de ces défauts est jugé négligeable par le fabricant, il devra le justifier par un argumentaire.

Principes de validation

Si la technique de substitution n'entre pas dans le champ de l'EN 12062, la validation des performances du procédé de contrôle doit alors être réalisée selon les principes définis dans l'EN 14748.

Trois démarches sont recommandées:

- sur maquette (associée ou non à des simulations) contenant des défauts représentatifs (naturels ou artificiels). L'évaluation pratique sur maquettes s'effectue à l'aide de pièces de qualification simulant le composant ou un élément du composant. Il convient que ces pièces de qualification contiennent les discontinuités représentatives de celles qui sont susceptibles d'être générées par le procédé de soudage et aient une configuration géométrique représentative de la pièce à contrôler (dimensions, épaisseur, rayon de courbure, obstacles, …). Si possible, les cas les plus défavorables pour la détection d'un défaut par la méthode alternative envisagée doivent être identifiés. Si les cas défavorables ont été identifiés (à l'aide d'outils de simulation reconnus par exemple), le nombre de maquettes à réaliser sera fonction du nombre de défauts « défavorables » pouvant être implanté par maquette. Dans le cas contraire, une quantité de maquettes suffisante pour couvrir tous les types de défauts recherchés (de dimensions acceptables et inacceptables) et la gamme épaisseur/diamètre devront être réalisés ainsi que des essais comparatifs entre la technique de référence et la technique CND alternative.
- par REX (Retour d'Expérience). Le composant ou l'élément de composant sera soumis en parallèle et en aveugle à l'application des techniques du groupe G_0 et G_n sur une ou plusieurs campagnes de fabrication, jusqu'à ce que l'on puisse démontrer que les défauts critiques mis en évidence par G_0 le sont également par G_n.
- la validation par l'exploitation de résultats déterminés par courbes POD. On peut exploiter 2 méthodes probabilistes dans des conditions fixées dans le guide. Ces méthodes sont celles dites :
  a) « Hit/miss » correspondant à l'analyse des détections et non détections. Dans ce cas, les données sont discrètes et cette méthode est bien appropriée à l'évaluation des techniques MT et PT
  b) ***â*** data (i.e. 'a hat data' or 'signal response') ou en réponse de signal. Dans ce cas les données sont continues et cette méthode est bien appropriée à l'évaluation des techniques CND dans laquelle l'indication est traduite par un signal (amplitude du signal ultrasonore par exemple)

Quel que soit le principe de validation retenu, la validité de la transposition sera déterminée sur l'ensemble des techniques CND appliquées sur le composant. Par exemple, si on veut

substituer le groupe G_0 constitué des techniques prescrites (RT + MT par exemple) par un groupe G_n des nouvelles techniques, constitué de l'association d'autres techniques (éventuellement plus nombreuses ou différentes en tout ou partie), on comparera les résultats de G_0 à ceux de G_n et non les techniques du groupe entre elles.

Définition et méthodologie à suivre pour définir des critères associés aux défauts (ECA),
La nocivité d'un défaut, de forme et de dimensions données, est une notion relative qui ne peut être évaluée que par rapport aux propriétés mécaniques du matériau et au champ de contrainte auquel est soumise la zone défectueuse. Cette nocivité est précisée lors de l'analyse simulée du comportement en service de l'assemblage destinée à garantir l'intégrité de la structure, même sous les conditions limites de chargement et de résistance.

Un défaut, et plus particulièrement un défaut non volumique, constitue l'origine privilégiée des deux modes de rupture auxquels un assemblage soudé est exposé.

- La rupture brutale provoquée par un chargement statique excessif,
- La rupture progressive, notamment par fatigue lorsque le chargement est variable.

Toute spécification tenant compte de l'existence de défauts doit prendre en considération ces deux modes de rupture que les connaissances actuelles de la mécanique de la rupture permettent au coup par coup de traiter.

L'analyse doit, envers le premier mode, aboutir à la détermination d'une taille de défaut critique, et envers le deuxième, apporter l'assurance d'une durée de vie suffisante ou d'une gravité inférieure, intrinsèque, de l'assemblage.

Recommandations pour intégrer la contrôlabilité lors de la conception
Dans le cadre du remplacement des examens volumiques avec rayonnements ionisants par une méthode alternative, il est primordial, lorsque cela est possible, d'intégrer la notion de contrôlabilité dans la phase de conception de l'équipement.

En effet, les études de conception doivent prendre en compte les impératifs liés aux examens volumiques par la méthode alternative envisagée.

Lorsque le contrôle ultrasonore est envisagé comme technique de substitution, le choix de la position des soudures doit permettre une accessibilité suffisante pour les contrôles, Dans ce cas, par exemple, il est nécessaire de prévoir de part et d'autre de la soudure, une distance égale à a + n e avec :
a = encombrement du système de contrôle
e = épaisseur du composant
n = entier dépendant de l'angle du traducteur et de la procédure. Pour la plupart des applications n est compris entre 1 et 2
L'accessibilité (plate-forme, caillebotis, échafaudage, moyens de manutention,...) et éventuellement les appareillages spéciaux nécessaires aux examens (par exemple, outillage de positionnement de source gammagraphique, porteur ultrasonore) devront être pris en compte dans les études de conception. Le calorifuge doit être démontable lorsqu'un examen volumique des soudures ou un examen non volumique par l'extérieur est prévu.

Présentation du chapitre 2

Ce chapitre décrit les modalités d'emploi et critères associés pour l'utilisation du TOFD pour le contrôle des soudures d'Equipements Sous Pression en relation avec les normes et codes existant dans le contexte du remplacement d'une technique RT et donne des exemples et cas pratiques d'application.

Points clefs

Les points clefs abordés dans le chapitre 2 sont les suivants :

- Recommandations à appliquer pour pouvoir substituer le TOFD au contrôle RT, et appréciation des difficultés de remplacement en fonction du cas d'application, et restrictions de mise en œuvre
- Mode d'emploi en fonction des types de soudures
- Nécessité ou non d'emploi de techniques complémentaires (cas général, ESP à paroi mince, ESP soumis à la fatigue)
- Principe de validation des paramètres opératoires et « images » obtenues
- Qualification du personnel
- Éléments devant figurer dans la procédure de contrôle
- Niveaux d'acceptation

Recommandations et restrictions de mise en œuvre

Dans le cas du remplacement d'un contrôle RT, le TOFD est applicable à condition :
- d'être dans le domaine d'application de la technique,
- de respecter les recommandations énoncées dans le chapitre 2 du guide.

Toutefois, si la technique TOFD est utilisée en dehors du champ d'application couvert par l'EN 12062, l'un des trois principes de validation présenté au chapitre 1 doit être utilisé.

Si le risque de génération de défauts transversaux est avéré lors de la réalisation des soudures de l'appareil, on devra démontrer que le procédé de contrôle utilisé (balayages, paramètres d'examen ou « set-up ») permet de détecter ce type de défaut, en particulier dans les soudures circulaires.
Lorsqu'un contrôle TOFD est envisagé, la contrôlabilité par cette technique doit être autant que possible intégrée dans la phase de conception de l'équipement. On s'attachera notamment à limiter les délardages, bourrelets de soudure, concentricité des composants soudés, défauts de coaxialité, désaccostages.
Les joints soudés prévus pour être contrôlés en TOFD doivent être dans le domaine d'application de la technique (soudures bout à bout en acier carbone non alliés ou faiblement alliés). De plus, il convient de s'assurer que le débattement de part et d'autre des joints soudés considérés est au moins égal à :
[(1,85 x ep) + 25] mm, pour les épaisseurs < 50 mm
[(1,75 x ep) + 25] mm, pour les épaisseurs comprises entre 50 mm et 200 mm
[(1,2 x ep) + 25] mm, pour les épaisseurs supérieures à 200 mm

Le synoptique présenté en figure 1, issu du Projet ALTERX, donne les paramètres à prendre en compte pour pouvoir déterminer si un contrôle TOFD est envisageable, ainsi que les solutions pouvant être mises en œuvre lorsque l'on se trouve aux limites du domaine d'application de la technique et que des difficultés ont été identifiées.

Dans le cas où le contrôle TOFD doit être réalisé sur des zones comportant des intersections de soudure (nœuds), celles-ci devront être arasées. Le guide propose une méthodologie pouvant permettre de s'affranchir de l'arasage.

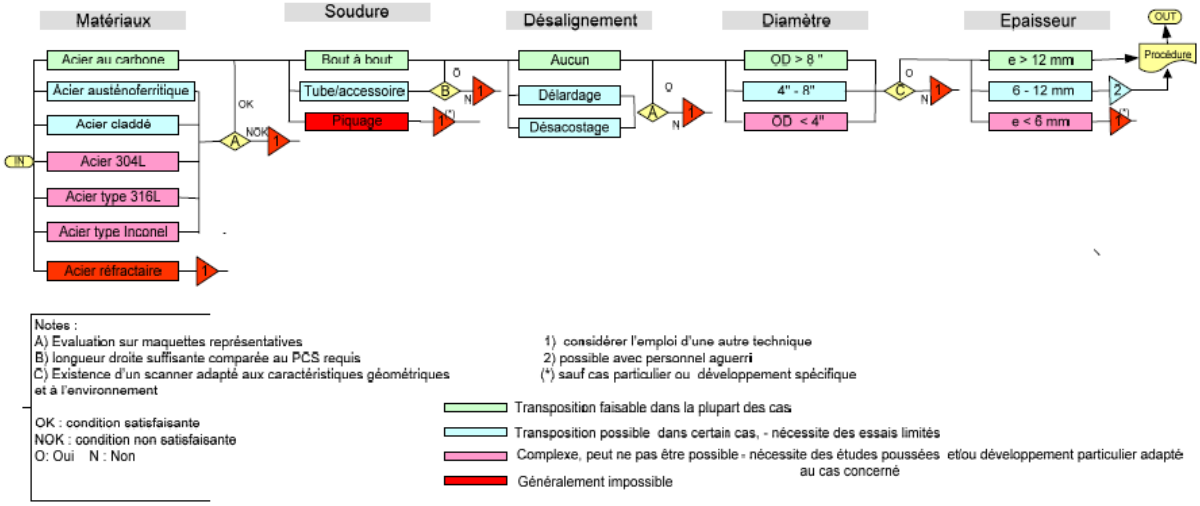


Figure 1 – Synoptique et restrictions de mise en œuvre de la technique TOFD sur les soudures d'ESP

Mode d'emploi en fonction des types de soudures

Les possibilités de remplacer les techniques RT par le TOFD en fonction des types de soudures rencontrées sur un Equipement Sous Pression en acier au carbone et des degrés de difficulté sont présentées dans le chapitre 2. Les principaux cas (répertoriés dans le projet SOURCE) susceptibles d'être rencontrés sur un ESP sont mentionnés dans le guide. A titre d'exemple la figure 2 illustre l'un des cas traités.

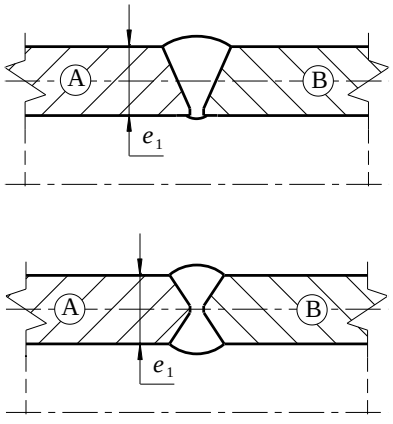
Type d'assemblage	**Transposition RT par TOFD**			**Commentaires**
	Non	Oui	Oui avec réserves (analyse de faisabilité au cas par cas)	
Assemblage circulaire **Soudure bout à bout sans support permanent** **Épaisseur identique** 		**X**		L'assemblage peut être contrôlé sans difficulté. Une surépaisseur/largeur de cordon importante peut constituer une difficulté car susceptible de générer une « zone grise » plus importante (voir définition en annexe 2 de ce chapitre) A cet effet, il convient d'être particulièrement vigilant vis-à-vis du respect des exigences géométriques que l'on retrouve dans chaque référentiel de construction. *Note :la présence d'un support permanent ne modifie pas les possibilités d'emploi.*

Tableau 2 – Mise en œuvre de la technique TOFD sur les configurations d'assemblages soudés usuellement rencontrés sur les équipements sous pression en acier au carbone

Nécessité ou non d'emploi de techniques complémentaires (cas général, ESP à paroi mince, ESP soumis à la fatigue)

Au stade de la fabrication, les équipements sous pression à paroi mince sont susceptibles de contenir des défauts quasi-traversants susceptibles d'engendrer des fuites. Il convient donc de s'assurer que le TOFD permet une détection satisfaisante de tels défauts. Les paramètres et le mode opératoire du contrôle devront permettre de détecter les défauts susceptibles de traverser la paroi, comme les fissures et les soufflures vermiculaires (s'il ne peut être démontré que le procédé de soudage n'en génère pas), avec une sensibilité de l'ordre de celle obtenue avec la technique par rayonnements ionisants initialement prévue. Il est donc recommandé :

- de contrôler 100 % de la longueur des joints soudés (nœuds compris),
- de combiner le contrôle TOFD à un contrôle visuel et à un examen surfacique (de préférence par ressuage) sur 1 ou 2 faces en fonction des conditions d'accessibilité,
- de valider le contrôle sur une cale de référence comportant un trou traversant de diam. 1,5 mm et incliné de 30°.

Si l'équipement sous pression considéré est soumis à la fatigue il est recommandé d'appliquer les dispositions suivantes lorsqu'on emploiera la technique TOFD :

- contrôle 100 % de la longueur des joints soudés (nœuds compris) situés dans les zones critiques
- réalisation d'un contrôle visuel et par magnétoscopie préalable sur les 2 faces sur composant en acier carbone,
- réalisation d'un contrôle visuel et par ressuage préalable sur les 2 faces sur composant en acier inoxydable,

Toute indication détectée en surface par technique ultrasonore est inacceptable. Il est recommandé d'engager un contrôle surfacique local pour confirmer la présence d'un défaut débouchant ou très proche de la surface.

<u>Principe de validation des paramètres opératoires et « images » obtenues</u>

La validation des images et la classification des indications TOFD doivent être réalisée suivant XP CEN/TS 14751, en tenant compte des compléments suivants. Il est recommandé de ne prendre en compte que les indications ponctuelles dont l'amplitude dépasse un seuil (par exemple : fraction de l'amplitude de l'onde latérale sous réserve de la présence et de la maitrise de celle ci, fraction du niveau de référence défini sur un trou du bloc de référence déterminée à partir de la théorie générale de la diffraction).

Pour le cas particulier des indications ponctuelles isolées, on doit s'assurer que ce seuil est suffisant pour relever la présence de défauts plans parallèles au plan d'incidence des faisceaux ultrasonores (par ex : fissure transversale par rapport au cordon de soudure) et de défauts traversants (par ex : fissure, soufflure vermiculaire, …) ou qu'il est associé à d'autres critères complémentaires (analyse de la phase, présence d'arc hyperbole en conversion de mode ou perturbation de l'écho de fond associés à l'indication ponctuelle, …).

La couverture complète du volume doit être vérifiée préalablement au contrôle soit en utilisant un outil de simulation (reconnu pour ce domaine), soit par essais sur pièces de référence. Elle peut ainsi nécessiter, en plus du balayage où les traducteurs sont placés symétriquement par rapport à l'axe de la soudure, des balayages déportés.

<u>Qualification du personnel</u>

Il est important de rappeler que c'est l'Employeur qui a la responsabilité d'organiser son chantier avec les moyens matériels et humains adéquats. Il porte donc la responsabilité de l'autorisation de son personnel à mettre en œuvre un procédé de contrôle. De ce fait, il doit s'assurer que ses opérateurs ont les compétences suffisantes pour réaliser les tâches qui leur sont imparties lors d'un contrôle.

Cela se traduit par l'attestation que les opérateurs ont les certifications exigées par le système qualité régissant l'exécution des contrôles et la connaissance nécessaire et suffisante du procédé de contrôle particulier à mettre en œuvre.

En France, une certification spécifique COFREND des opérateurs réalisant les contrôles TOFD est en cours de mise en place et il est recommandé que les opérateurs soient à minima certifiés suivant ce référentiel.
Il est également recommandé de remplacer le contrôle par rayonnements ionisants par le TOFD dès le stade de qualification des modes opératoires de soudage et des soudeurs.

Procédure de contrôle
Pour assurer le contrôle par TOFD d'un équipement sous pression, une procédure est généralement exigée. Les éléments devant y figurer sont décrits en détail dans le guide.

Elle doit définir de manière très précise tous les éléments relatifs:
- à l'objet et la demande d'application :
- au référentiel et exigences réglementaires à satisfaire ainsi qu'a la qualification des opérateurs et éventuellement aux exigences de mise en œuvre :
- aux caractéristiques de l'équipement à contrôler, à la couverture de zone, aux paramètres ultrasonores utilisés et caractéristiques des blocs utilisés

Niveaux d'acceptation
Les niveaux d'acceptation pouvant être employés avec la technique TOFD sont notamment ceux préconisés dans l'EN15617. Il est toutefois recommandé que les règles de cumuls qui suivent soient employées en lieu et place de celles spécifiées dans cette norme.

Niveau	Somme longueur (*) sur 12e
1	3,5 e
2	4e sur 12e
3	4,5e sur 12e

Tableau 3 : Epaisseur ≤ 50 mm

Niveau	Somme longueur (*) sur 12e
1	175 + (e-50)
2	200 + (1,25x(e-50))
3	315 + (1,5x(e-50))

Tableau 4 : Epaisseur > 50 mm

Note (*) sans valeur maximale

Présentation du chapitre 3

La substitution de l'iridium 192 par du sélénium 75 peut permettre de réduire les doses reçues du fait de sa plus faible énergie et d'une efficacité améliorée des écrans atténuateurs. Elle répond ainsi aux principes de la radioprotection « justification, optimisation et limitation des doses ». C'est dans ce cadre que son utilisation est présentée dans le guide comme une alternative à l'Iridium 192 pour la réalisation de contrôles par radiographie. De plus, le sélénium est parfaitement adapté en termes d'énergie à l'examen des composants d'épaisseurs moyennes en substitution à l'iridium.

Ce chapitre décrit les modalités d'emploi et critères associés pour l'utilisation du sélénium 75 pour le contrôle des soudures d'Equipements Sous Pression en relation avec les normes et codes existant dans le contexte du remplacement d'une technique RT et donne des exemples et cas pratiques d'application.

Points clefs
Les points clefs abordés dans le chapitre 2 sont les suivants :
- Rappel des exigences CND du CODAP

- Prescriptions complémentaires pour pouvoir employer le sélénium 75
- Restrictions de mise en œuvre, mode d'emploi en fonction des types de soudures et de la philosophie du remplacement
- Nécessité ou non d'emploi de techniques complémentaires
- Qualification du personnel
- Éléments devant figurer dans la procédure de contrôle
- Niveaux d'acceptation

Prescriptions complémentaires pour pouvoir employer le sélénium 75

Le remplacement d'une source d'iridium 192 par une source de sélénium 75 est possible à condition :

- d'être dans le domaine d'application du sélénium 75
- de respecter les recommandations énoncées dans les paragraphes suivants.

Toutefois, si le sélénium 75 est utilisé en dehors du champ d'application couvert par l'EN 1435 les plages de densité doivent être respectées et les indices de qualité d'image minimaux requis par le référentiel de construction utilisé doivent être atteints.

Les limites d'épaisseur traversée en fonction des matériaux à contrôler sont les suivantes:

Source	Epaisseur traversée (*)	
	aciers alliés et non alliés	titane et aluminium
Se 75	≤ 40mm	≥ 35mm

Les valeurs maximales du flou géométrique admissible sont données ci-après :

a) Cas général

Source	Joints soudés	Pièces moulées	
		Zones à souder	Autres parties
Se 75	0,30 mm	0,40 mm	0,50 mm

b) Cas d'une exposition panoramique ou avec une source intérieure excentrée

Source	Epaisseur en mm	Joints soudés	Pièces moulées	
			Zones à souder	Autres parties
Se 75	Toutes épaisseurs	0,60 mm	0,60 mm	0,60 mm

Les systèmes film de classe C1 à C5 peuvent être utilisés sous réserve de l'obtention de l'indice de qualité requis (fonction du type d'IQI utilisé). L'indice de qualité d'image à obtenir pour le Se 75 est défini dans le tableau suivant :

Epaisseur e traversée (mm)	Dernier trou visible de l'I.Q.I.		Dernier fil visible de l'I.Q.I.	
	Diamètre (mm)	N° du trou	***Diamètre (mm)***	***N° du fil***
e ≤ 3	0,25	H4	***0,10***	***W16***
3 < e ≤ 6	0,32	H5	***0,125***	***W15***
6 < e ≤ 10	0,40	H6	***0,16***	***W14***
10 < e ≤ 16	0,50	H7	***0,20***	***W13***
16 < e ≤ 25	0,63	H8	***0,25***	***W12***
25 < e ≤ 32	0,80	H9	***0,32***	***W11***
32 < e ≤ 40	1,00	H10	***0,40***	***W10***
40<e≤80 (1)	1,25	H11	***0,50****	***W9****
80< e ≤125 (1)	1,60	H12	***0,50****	***W9****

(1) hors domaine d'utilisation classique du Se75 sur les aciers / domaine d'utilisation classique sur aluminium et titane) pour l'aluminium ou le titane uniquement

Restrictions de mise en œuvre, mode d'emploi en fonction des types de soudures et de la philosophie du remplacement

Le remplacement d'une autre méthode de contrôle par rayonnements ionisants par du sélénium 75 en fonction des types de soudures rencontrées sur un équipement sous pression ne devrait généralement pas présenter de difficultés dans la mesure où les conditions énoncées dans le chapitre 3 du guide sont satisfaites.
Toutefois en fonction des applications et de la qualité d'image requise, on peut être conduit à réaliser des expositions supplémentaires pour respecter les plages de densité imposées dans la zone à interpréter. Lorsque l'on remplace l'Ir 192 dans le but d'améliorer la qualité d'image, on peut être conduit à augmenter le temps d'exposition.

Le sélénium 75 ne doit pas être utilisé sans validation particulière :

- sur des soudures en aluminium ou en titane d'épaisseur inférieure à 35 mm.
- sur des soudures en acier au carbone ou inoxydable d'épaisseur supérieure à 40 mm

Trois situations peuvent être rencontrées :

- a) remplacement de l'Ir 192 dans un contexte d'optimisation de la radioprotection (objet du guide) sans optimisation particulière de la qualité d'image.
- b) remplacement de l'Ir 192 dans un contexte d'optimisation de la qualité d'image jusqu'alors obtenue en Ir 192,
- c) remplacement de rayons X dans un contexte de plus grande facilité de mise en œuvre.

A chaque situation correspondent des paramètres opératoires et des choix de système-film qui peuvent être différents. Les paramètres « temps d'exposition » et « qualité d'image » doivent être finement analysés, pour des conditions opératoires permettant d'assurer la couverture de zone requise, les recouvrements entre zones à interpréter et le respect des plages de densité.

Qualification du personnel
La qualification du personnel exécutant les contrôles par gammagraphie est identique quelle que soit la nature de la source radioactive.

Éléments devant figurer dans la procédure de contrôle
Pour le sélénium 75 il n'y a pas d'exigences supplémentaires à ce qui est requis pour l'Ir 192.
Niveaux d'acceptation
Les niveaux d'acceptation sont ceux utilisés avant substitution.

CONCLUSIONS

La publication intégrale du guide devrait coïncider avec les Journées COFREND de Dunkerque. Ce guide reflète un consensus entre les donneurs d'ordre, les fabricants et les centres techniques et est appelé à évoluer.

Il devrait constituer une aide précieuse pour toute personne devant remettre en question ses activités basées sur l'emploi de la radiographie, et s'interrogeant sur l'utilisation d'autres méthodes (ou techniques) permettant d'améliorer la radioprotection lors de la mise en œuvre des contrôles sur les appareils à pression.

La décision de passer à l'emploi d'une technique alternative doit être prise en fonction de plusieurs critères :

- plus-value et moins value de la nouvelle technique par rapport à l'ancienne,
- changements et conséquences de l'utilisation de cette nouvelle technique (sur l'organisation, les moyens, le processus de fabrication,…),
- circonstances et échéance du remplacement de l'ancienne technique.

Dans ce contexte, il est important de ne pas perdre de vue l'objectif de la mise en œuvre de la radiographie industrielle ainsi que l'impact des changements sur les opérateurs (formation, compétence, expérience) et le temps et le coût nécessaires au basculement vers le nouveau procédé de contrôle.

REFERENCES

[1] Guide des bonnes pratiques de la COFREND "Démarche de justification de la radiographie gamma" (réf CACT-DT-10-001)

[2] Projet ALTER-X : Etat de l'art des techniques CND alternatives à la gammagraphie Ir192 pour le contrôle de soudures de tuyauteries - Institut de Soudure référence RD12.RT01

Projet associatif piloté par l'Institut de Soudure en collaboration avec EDF, GRT Gaz, Technip et Total dont l'objectif est de réaliser l'état de l'art des moyens de contrôle non destructif volumiques applicables en particulier aux soudures, avec leurs avantages / inconvénients et limites, (radiographie X, radiographie numérique, emploi du sélénium, TOFD, Multiéléments, …) et de rédiger des recommandations générales de contrôle pour les techniques les plus prometteuses.

[3] Projet SOURCE : **S**ubstitution **O**ptimale à l'**U**tilisation de la **R**adiographie par **C**ontrôles **E**quivalents.

Projet piloté par le CETIM en collaboration avec Fives Nordon, SNCT, ENDEL, Cameron, CICO Centre, GEA BTT, CMP Dunkerque et CPCU dans le cadre de la réduction de l'emploi des rayonnements ionisants dans les applications CND impliquant des contrôles internes volumiques. Son objectif est de réaliser des essais croisés radiographie / méthodes alternatives (Ultrasons monoélément, Ultrasons multiéléments, TOFD) sur des cas industriels.